



2015/2016

# Commande Moteur

Compte Rendu



Clément Calliau Pierre Louis Renaud

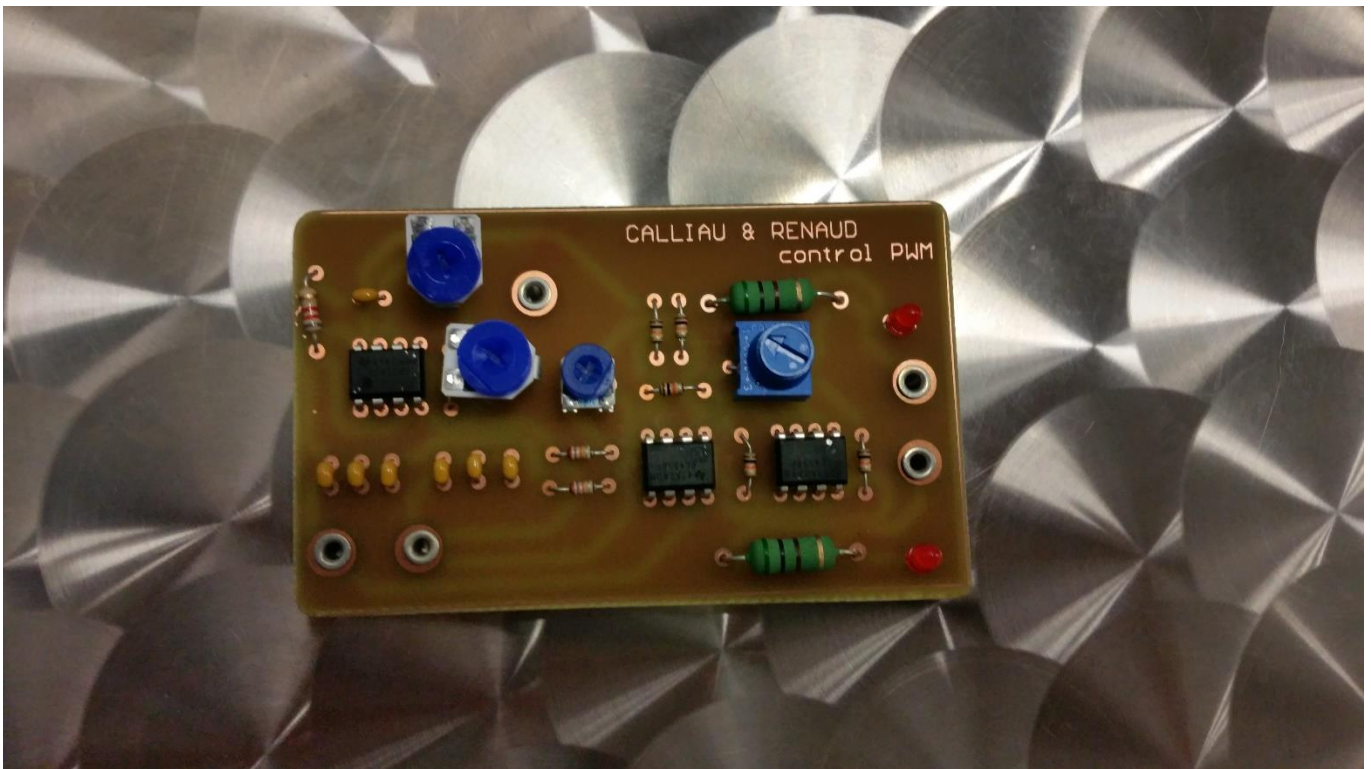
PREPA SER 1  
ESTEI

## Table des matières

Table des matières.....	1
Présentation du projet.....	2
Analyse fonctionnelle et .....	3
1) Schéma fonctionnel niveau 1 .....	3
2) Schéma fonctionnel niveau 2 .....	3
3) Schéma fonctionnel niveau 3 .....	4
4) Description des signaux .....	5
Analyse structurelle .....	6
1) Schéma structurel .....	6
2) Analyse structurelle .....	7
Fabrication .....	9
1) Nomenclature .....	9
2) Plan .....	9
3) Test de fonctionnement.....	11
Mesures et validation .....	12
1) Première structure : Générateur triangulaire .....	12
2) Seconde structure : Additionneur .....	16
3) Troisième structure : Compérateurs .....	18
4) Fonctionnement global .....	19
Conclusions.....	21

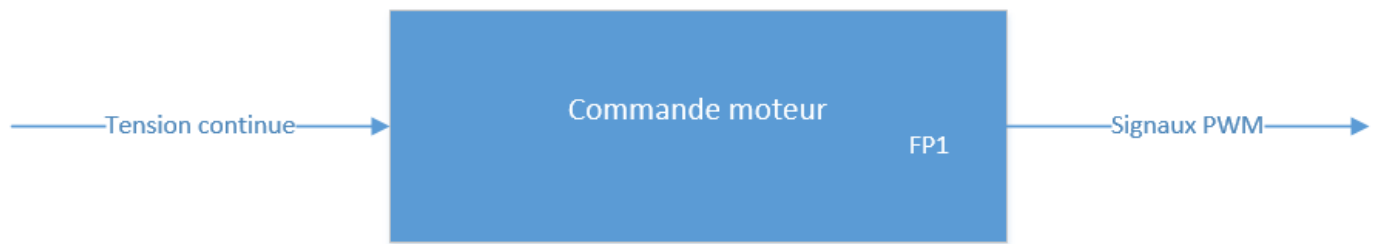
## Présentation du projet

Dans ce projet nous devons mettre en place une carte de commande moteur PWM. Pour mener à bien ce projet nous avons utilisé des AOP dans différents montages pour créer un signal PWM à partir de tensions continues positives et négatives. Le schéma du montage nous a été fourni sur feuille pour mener à bien notre projet. Nous devons réaliser les bibliothèques de schématique et PCB, reproduire le schéma sur Altium, le routage du PCB, et la réalisation physique de la carte.



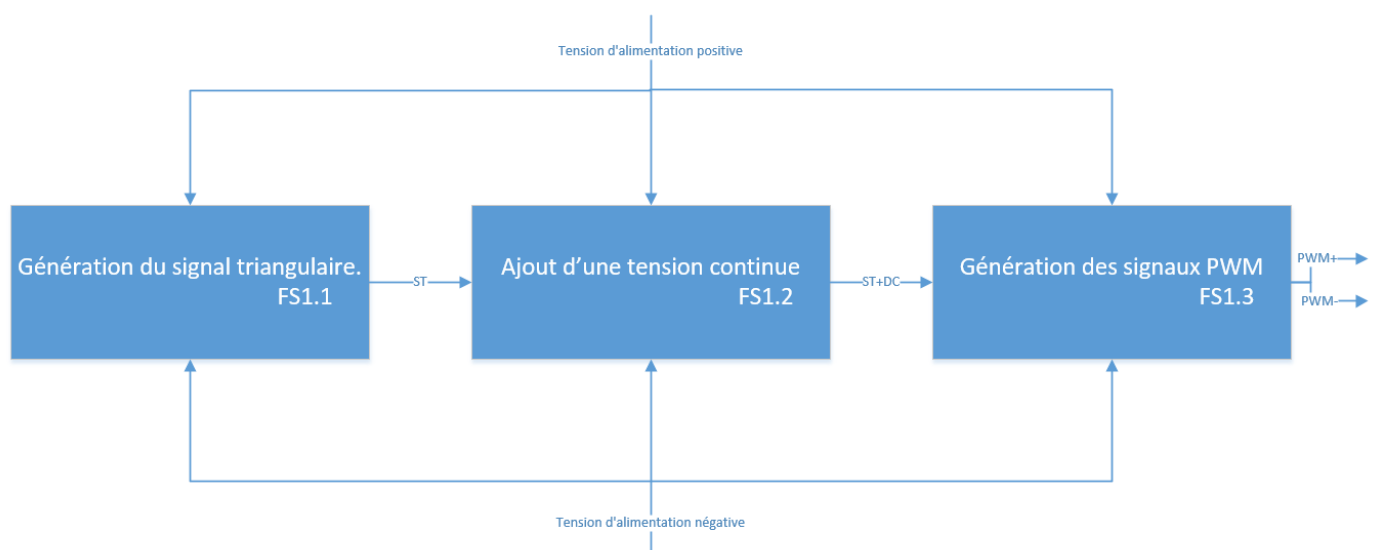
## Analyse fonctionnelle et

### 1) Schéma fonctionnel niveau 1



FP1 : Modulation de tension.

### 2) Schéma fonctionnel niveau 2



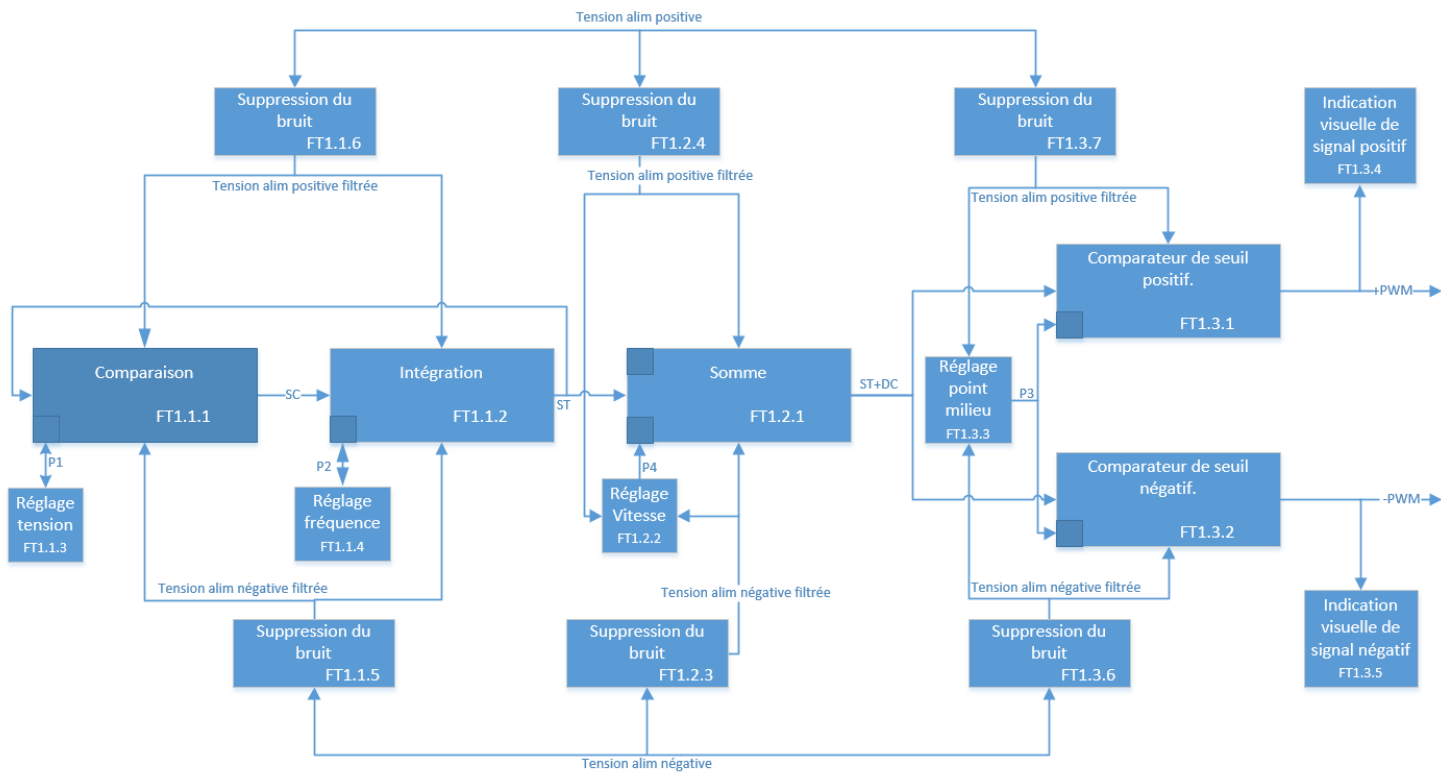
## Fonctions niveau 2

FS1.1 : Génération d'un signal triangulaire.

FS1.2 : Ajout d'une tension continue au signal triangulaire.

FS1.3 : Compare le signal à une valeur de seuil et renvoie deux signaux PWM inversés.

### 3) Schéma fonctionnel niveau 3



### Fonction niveau 3

*FT 1.1.1 : Montage trigger de schmitt.*

### FT 1.1.2 : Montage intégrateur

FT 1.1.3 : IHM. Réglage de l'amplitude du signal carré.

FT 1.1.4 : IHM. Réglage de la fréquence du signal triangulaire.

### FT 1.1.5 : Filtrage de la tension d'alimentation positive

### FT 1.1.6 : Filtrage de la tension d'alimentation négative

**FT 1.2.1 : Montage Sommateur.**

FT 1.2.2 : IHM. Réglage du sens et de la vitesse du moteur

### FT 1.2.3 : Filtrage de la tension d'alimentation positive

#### FT 1.2.4 : Filtrage de la tension d'alimentation négative

**FT 1.3.1 : Montage comparateur positif.**

FT 1.3.2 : Montage comparateur négatif.

FT 1.3.3 : IHM. Réglage du point milieu entre +PWM et –PWM.

**FT 1.3.4 : IHM. Visualisation approximative de la tension moyenne.**

FT 1.3.5 : IHM. Visualisation approximative de la tension moyenne.

### FT 1.3.6 : Filtrage de la tension d'alimentation positive

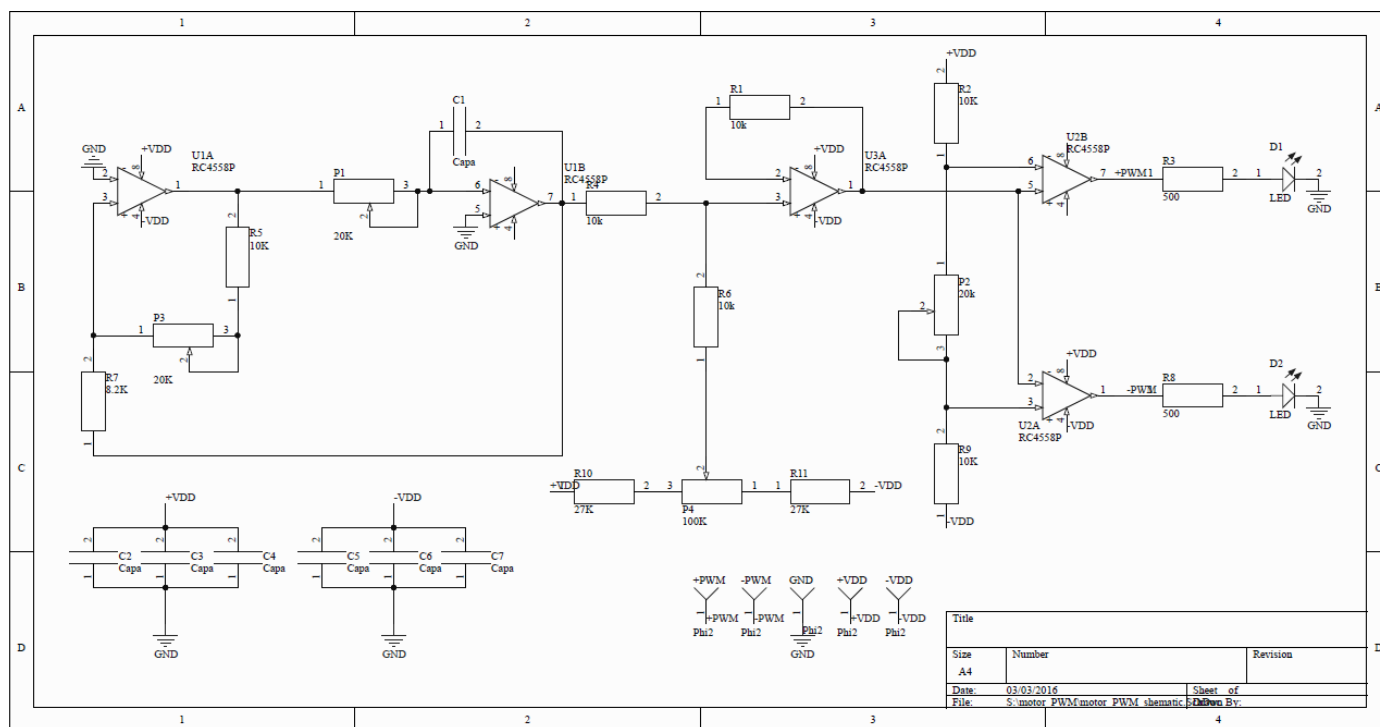
### FT 1.3.7 : Filtrage de la tension d'alimentation négative

#### 4) Description des signaux

Signaux	Forme	Vmax	Vmin	Fréquence	Commentaire
SC	Carré	+12 V	-12V	1KHz	Signal carré sortant du trigger de schmitt
ST	Triangulaire	+5 V	-5V	1KHz	Signal triangulaire sortant du montage intégrateur
ST+DC	Triangulaire	+5V+P4 V	-5V+P4 V	1KHz	Signal triangulaire plus un offset.
+PWM	Rectangulaire	+12 V	-12V	1KHz	Signal de sortie positive
-PWM	Rectangulaire	+12 V	-12V	1KHz	Signal de sortie négative
P1	Continu	+12 V	-12V	Continu	Règle la valeur des seuils du trigger
P2	Continu	+12 V	-12V	Continu	Règle la fréquence de la PWM
P3	Continu	+12 V	-12V	Continu	Règle les seuils des comparateurs
P4	Continu	+12 V	-12V	Continu	Règle l'offset envoyé au sommateur
Tension alim +	Continu	+12V		Continu	Tension d'alimentation non filtrée
Tension alim -	Continu		-12V	Continu	Tension d'alimentation non filtrée
Tension alim + filtrée	Continu	+12V		Continu	+12V sans d'éventuels parasites.
Tension alim - filtrée	Continu		-12V	Continu	-12V sans d'éventuels parasites.

## Analyse structurelle

### 1) Schéma structurel



## 2) Analyse structurelle

On peut voir trois montages dans ce schéma :

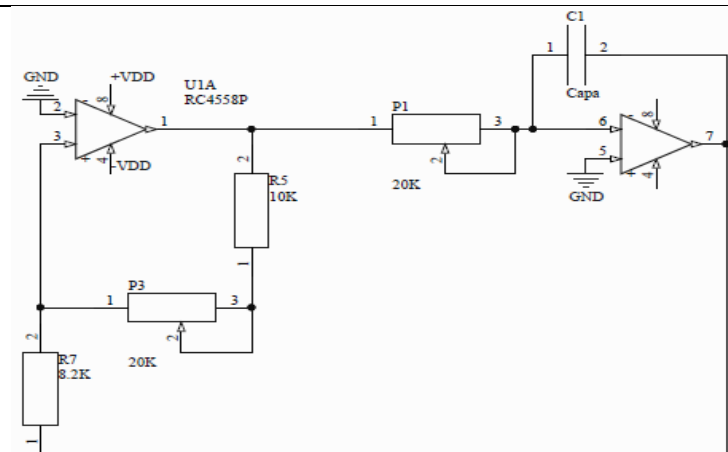
### Montage générateur de signal triangulaire

#### Partie 1 :

Dans cette partie du montage se trouve un trigger de schmitt. Donc en régime non linéaire. Il prend en entrée le signal triangulaire et le compare avec ses valeurs de seuil.

$$V_{+} = \frac{\frac{V_{triangle}}{R1} + \frac{V_{carre}}{\alpha P3 + R2}}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{\alpha P3 + R2}}$$

Quand  $V_t$  atteint les valeurs de seuils la sortie de l'AOP commute entre  $+V_{sat}$  et  $-V_{sat}$ .

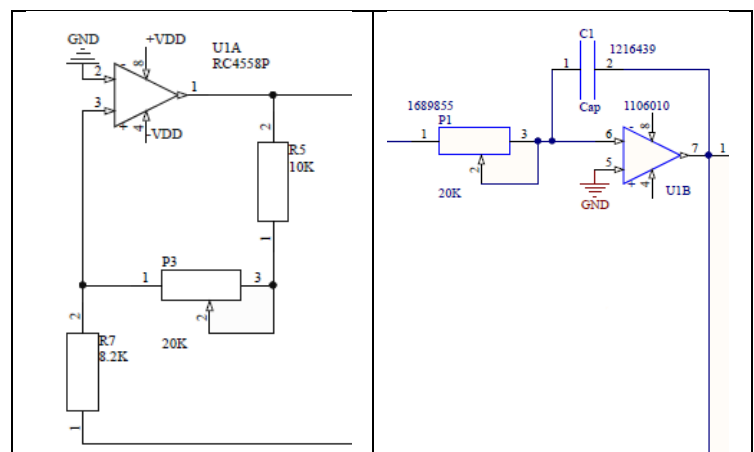


#### Partie 2 :

Cette AOP est en montage intégrateur donc linéaire. C et  $\alpha P2$  règlent le coefficient directeur de la courbe  $V_s = f(V_e)$  grâce à la relation tension courant du condensateurs.

Le réglage de P1 modifie alors la fréquence du signal (démonstration P16)

$$V_s = \frac{1}{\alpha P1 \cdot C} \int (-V_e) \cdot dt$$



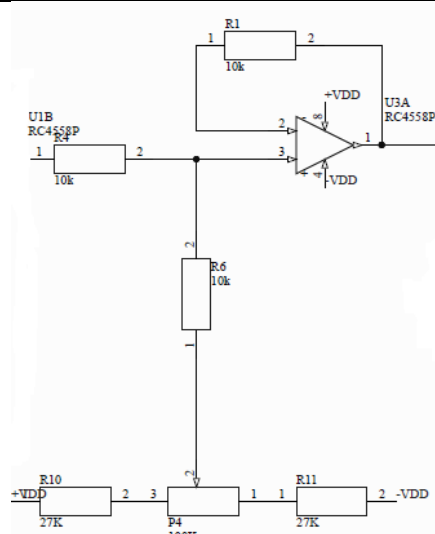
Partie 1

Partie 2

### Montage Sommateur :

Le montage Sommateur fonctionne en régime linéaire.

Ce montage additionne une tension continue au signal triangulaire. La tension moyenne du signal en sortie est alors modifiée par un offset, ce qui influera sur la vitesse et le sens de rotation du moteur.

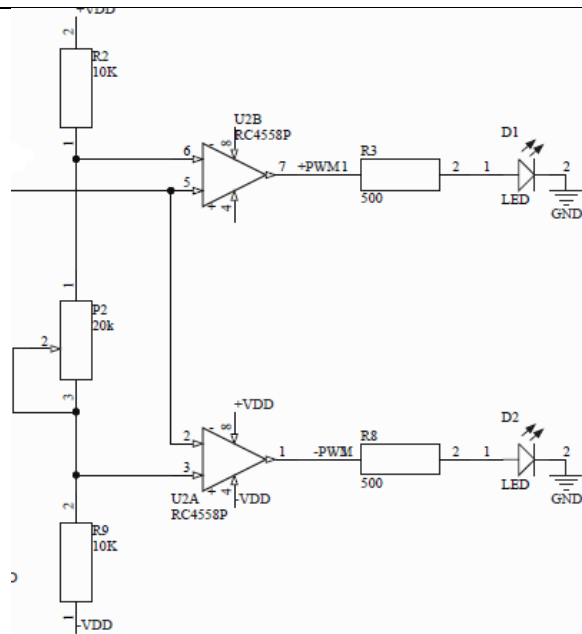




### Montage comparateur :

Le potentiomètre P2 règle la double tension de seuil, positive et négative, de ce double montage AOP comparateur. On retrouve donc en sortie les signaux inverses +PWM et -PWM.

Les LED D1 et D2 servent à visualiser la présence ou l'absence d'un signal dans la sortie correspondante. R3 et R8 jouent le rôle de diviseur de tension pour amener un courant limité vers les LEDS.



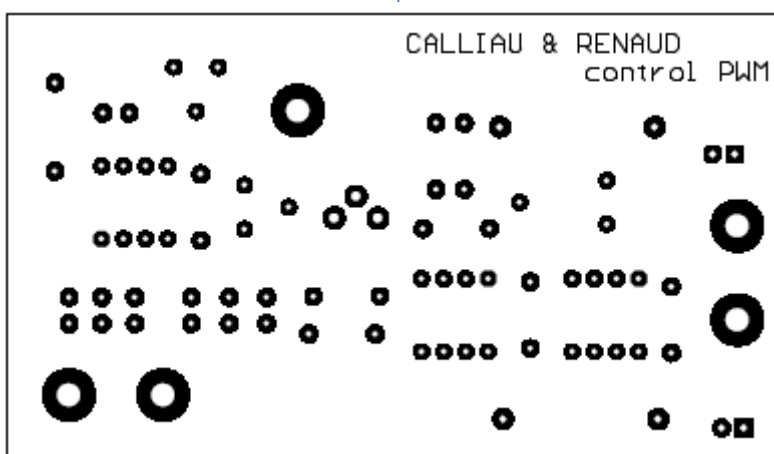
## Fabrication

### 1) Nomenclature

Désignation	Description	Caractéristique	Température de fonctionnement	Fournisseur	Référence	Quantités	Prix UHT	Prix TTL HT
C2, C3, C4, C5, C6, C7	Condensateur	0.1µF/T max 50V	-55°C à +125	Farnell	MCCR50104X7RK0050	6	0,33	1,98
C1	Condensateur	0.047µF/T max 50v	-55°C à +125	Farnell	MCCR50473X7RK0050	1	0,467	0,467
U1, U2, U3	Amplificateur operationnel	T max ±18 V	-65°C to 155°C	Farnell	RC4558P	3	0,1098	0,3294
D1, D2	LED	T max 2,8V	-40 à 80 °C	Farnell	MCL034PD	2	0,152	0,304
R10, R11	Résistances	27kΩ/ T max 350V	-55 °C à +155°C	Farnell	CFR50J27K	2	0,059	0,118
R3, R8	Résistances	500Ω/T max 250V	-50°C à + 50°C	Farnell	MCMFR0W4BB5000A50	2	1,58	3,16
R7	Résistances	8.2kΩ/T max 250V	+55 °C à +155°C	Farnell	CFR25J8K2	1	0,033	0,033
R1, R2, R4, R5, R6, R9	Résistances	10kΩ/t max 200V	+55 °C à +155°C	Farnell	LR0204F10K	6	0,05	0,3
P1, P3	potentiomètre	20kΩ/T max 250V	-25°C à +100	Farnell	3309P-1-203	2	0,817	1,634
P2	potentiomètre	20kΩ/T max 300V	-55°C à +125	Farnell	3386F-1-203TLF	1	3,47	3,47
P4	potentiomètre	100kΩ/T max 250V	-25°C à +100	Farnell	3309P-1-104	1	0,759	0,759
							Prix total HT	12,5544

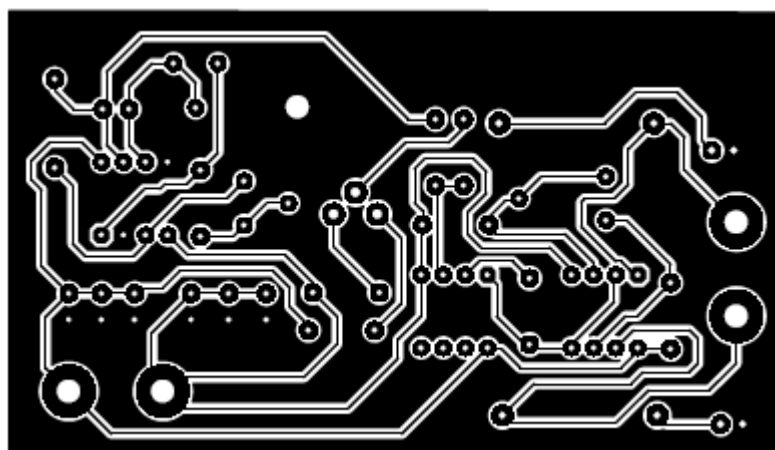
### 2) Plan

Top :



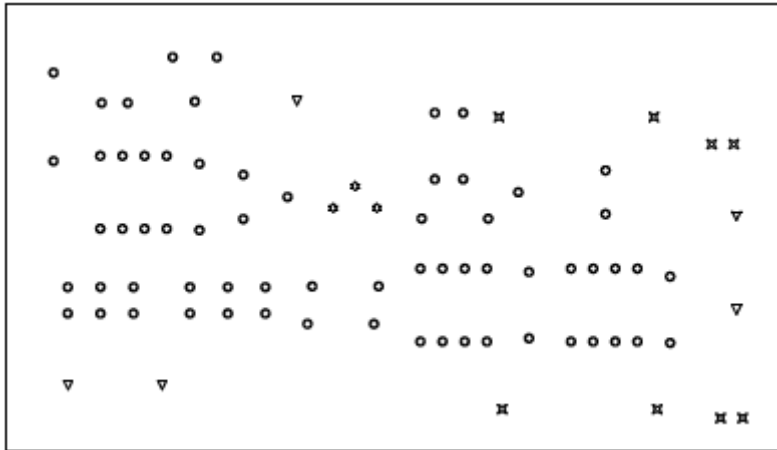
Echelle 1:1

Bottom :



Echelle 1:1

*Plan de perçage :*

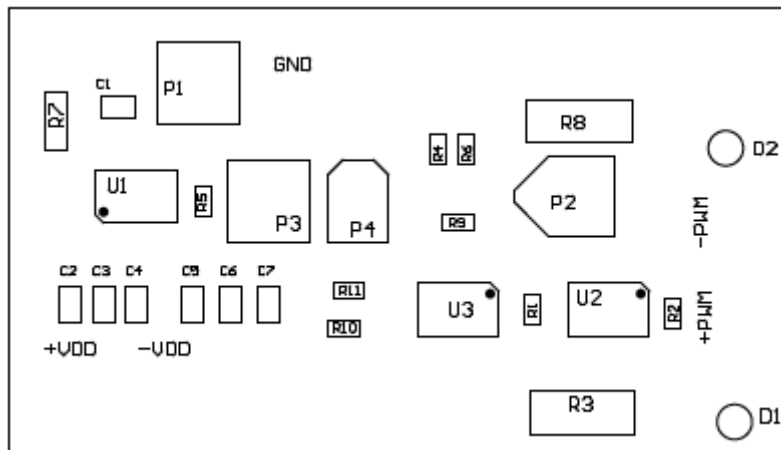


*Echelle 1:1*

Ronds : 0.6  
Etoiles : 0.8

Croix : 1 mm  
Triangles : 2.6 mm

*Implantation des composants :*



*Echelle 1:1*

### 3) Test de fonctionnement.

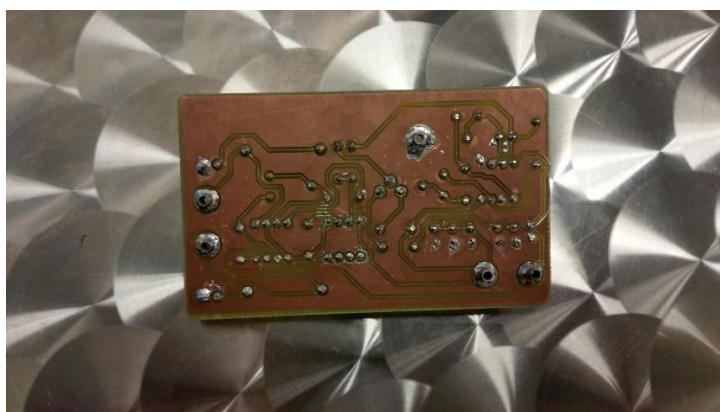
Pour s'assurer du bon fonctionnement de la carte, plusieurs tests doivent être faits au cours de sa production pour éviter des erreurs difficilement corrigeables.

La première vérification se fait sur les empreintes des bibliothèques PCB. Une feuille papier est imprimée avec les empreintes de tous les composants et on vérifie la correspondance de taille et de positionnement des broches.

Après le tirage de la carte le premier test est visuel. Il s'agit de s'assurer qu'aucun faux contact ou court-circuit visible à l'œil nu n'est présent. Sur notre carte un défaut d'alignement des typons lors de la phase d'insolation a sorti une des pistes de la plaque PCB, une reprise filaire a été nécessaire pour corriger ce problème.

Une fois les défauts visibles corrigés, nous utilisons un multimètre pour des tests ohmiques. Deux conducteurs sont touchés par les pointes de test et l'outil buzz si un contact existe entre les deux conducteurs. Ce test permet de repérer à la fois les court-circuits et les microcoupures invisibles à l'œil nu.

Une fois la reprise filaire faite, aucune erreur n'a été trouvée sur notre carte, nous sommes passés aux phases de perçage et de soudure des composants.

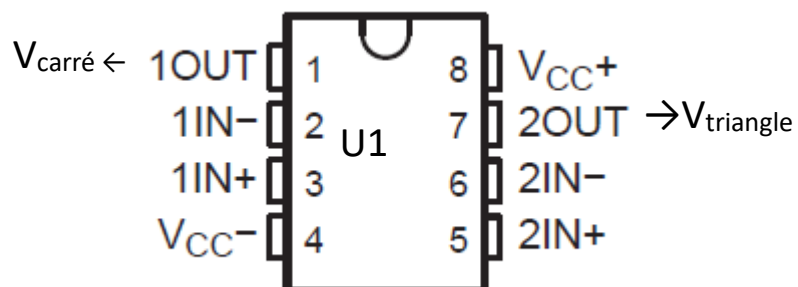


*Photo du bottom de la carte. Sur la droite, la reprise filaire.*

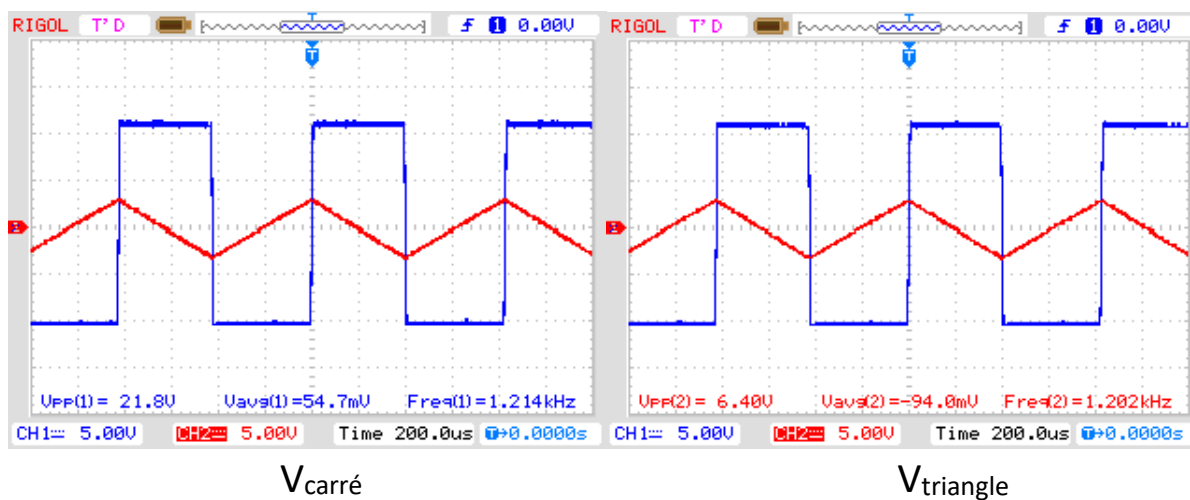
## Mesures et validation

### 1) Première structure : Générateur triangulaire

Les signaux  $V_{\text{carré}}$  et  $V_{\text{triangle}}$  sont mesurées aux sorties de l'AOP U1.



Premières mesures :



On remarque que les deux signaux sont à la même fréquence.

## Réglages des potentiomètres

Nous avons ajusté P3 jusqu'à obtenir, visuellement, une valeur de crête de  $V_{\text{triangle}}$  de  $\pm 5V$

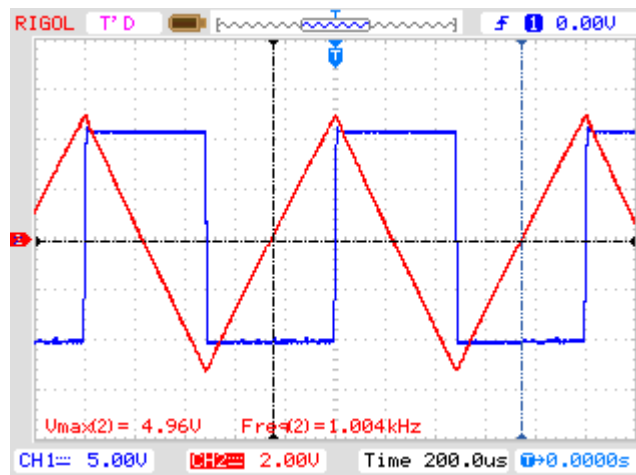
La tension d'entrée de U1A varie en fonction de P3 selon l'équation :  $V_{+} = \frac{\frac{V_{\text{triangle}}}{R1} + \frac{V_{\text{carre}}}{\alpha P3 + R2}}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{\alpha P3 + R2}}$

Pour  $V_{\text{TriangleCrête}} = 5V \rightarrow P3 = 10,6k\Omega (\pm 1\%)$

Puis nous avons ajusté P1 jusqu'à obtenir  $f_{\text{triangle}} = 1kHz$

P1 sert à ajuster la période, avec la capacité C1, par la relation  $\tau(s) = R.C$

Pour  $f_{\text{triangle}} = 1kHz \rightarrow P2 = 7,15k\Omega (\pm 1\%)$



Les signaux après ajustement des potentiomètres P3 et P1

## Détermination de $\tau$

On sait que  $\tau = RC$ .

$$R = \alpha P1 = 7,15k\Omega$$

$$C = 0,074\mu F$$

$$\text{Nous avons donc } \tau : \tau = 7015 \times 47.10^{-9} = 0,33ms$$

$$\text{Et la période : } T = 0,001 = \frac{\tau}{0,33} ms = 3\tau$$



Cet AOP est en régime linéaire.

Équation de transfert de l'AOP intégrateur :

$$I_c = C \cdot \frac{d(U_c)}{dt}$$

$$V_s + V_e - V^- = 0$$

$$\text{Or } V^- = V^+ = 0$$

$$V_e - R \cdot I - V^- = 0$$

$$V_s = -U_c$$

$$I_r = I_c$$

$$V_e = R \cdot I_r$$

$$\int I_c = C \int \frac{d(U_c)}{dt}$$

$$\int I_c = C \cdot U_c$$

$$I_r = \frac{V_e}{R}$$

$$V_s = \frac{-I}{C} \int I_c$$

$$V_s = \frac{-1}{R \cdot C} \int V_e dt$$

$$V_s = \frac{1}{R \cdot C} \cdot V_e \cdot t + k$$

$\alpha P1$  : Réglage du potentiomètre( $\Omega$ )

C : Capacité du condensateur(F)

$$V_s = \frac{1}{\alpha P1 \cdot C} \int (-V_e) \cdot dt$$

$\frac{1}{\alpha P1 \cdot C}$  est le coefficient directeur de l'intégration, ce qui se traduit graphiquement par la pente du signal triangulaire. Plus P1 est faible, plus la pente est raide, donc la valeur seuil du trigger est rapidement atteinte et le fait donc commuter ( $V_s$  de l'intégrateur =  $V_e$  du trigger) plus vite.

Donc quand la valeur de P1 augmente, la période  $T_{\text{triangle}}$  augmente aussi.

Et quand la valeur de P1 diminue,  $T_{\text{triangle}}$  diminue aussi.



## 2) Seconde structure : Additionneur

Régime de l'AOP

Cet AOP fonctionne en régime linéaire.

Nom de la structure

La structure est un additionneur.

Relation des signaux

$$V_{\text{triangle}+\text{DC}} = V_{\text{triangle}} + V_{P4}.$$

Formule avec montage d'origine :

$$V_{P4} = \frac{\frac{V_{\text{triangle}}}{R3} + \frac{VS}{R4} + \frac{\frac{+VDD}{R6 + (1-\alpha)P4} + \frac{-VDD}{R7 + \alpha P4}}{\frac{1}{R6 + (1-\alpha)P4} + \frac{1}{R7 + \alpha P4}}}{\frac{1}{R3} + \frac{1}{R4} + \frac{1}{R5}}$$

Formule après retrait de R6 et R7 de la carte :

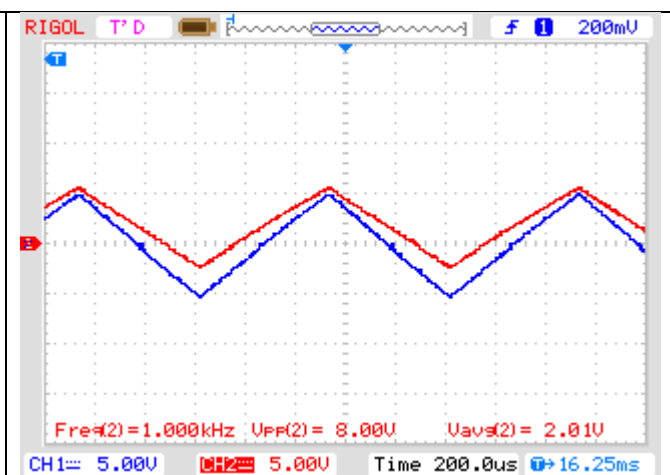
$$V_{P4} = \frac{\frac{V_{\text{triangle}}}{R3} + \frac{VS}{R4} + \frac{\frac{+VDD}{(1-\alpha)P4} + \frac{-VDD}{\alpha P4}}{\frac{1}{(1-\alpha)P4} + \frac{1}{\alpha P4}}}{\frac{1}{R3} + \frac{1}{R4} + \frac{1}{R5}}$$

Offset :

Sur les graphs suivants, nous avons Ch1 =  $V_{\text{triangle}+\text{DC}}$  et Ch2 =  $V_{\text{triangle}}$

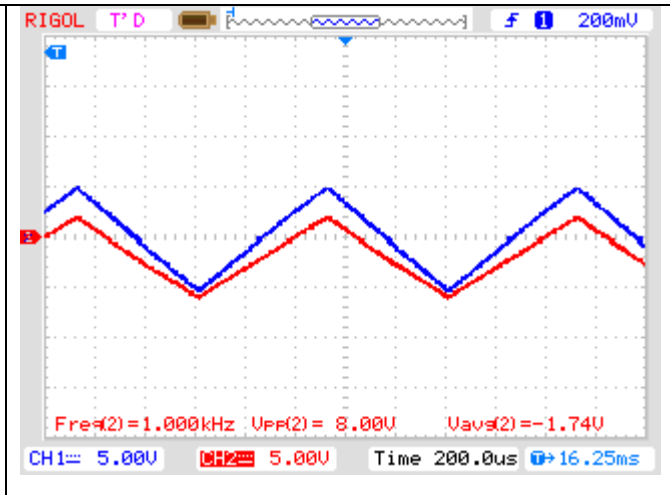
Potentiomètre P4 réglé pour un DC maximum :

- La fréquence reste à 1KHz, comme sur l'ensemble du montage.
- La valeur crête-à-crête diminue par rapport à  $V_{\text{triangle}}$ .
- On remarque sur la valeur moyenne un offset de 2V.



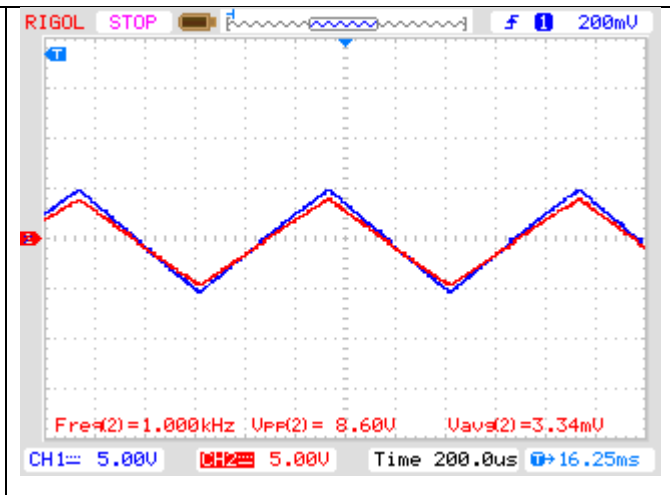
Potentiomètre P4 réglé pour un DC minimum :

- La fréquence reste à 1KHz, comme sur l'ensemble du montage.
- La valeur ne change pas par rapport à  $DC_{MAX}$ .
- On remarque sur la valeur moyenne un offset de -1.74V.



Potentiomètre P4 réglé au point milieu :

- La fréquence reste à 1KHz, comme sur l'ensemble du montage.
- La valeur ne change pas par rapport à  $DC_{MAX}$ .
- On remarque sur la valeur moyenne un offset quasi-nul.



### Rôle de la structure

Cette structure sert à additionner un signal continu au signal  $V_{triangle}$  pour en changer la valeur moyenne. L'ajout de cet offset, et donc la modification de la valeur moyenne du signal triangulaire, est déterminant pour la valeur des sorties PWM<sup>±</sup> de la carte.

### 3) Troisième structure : Comparateurs

Régime des AOP :

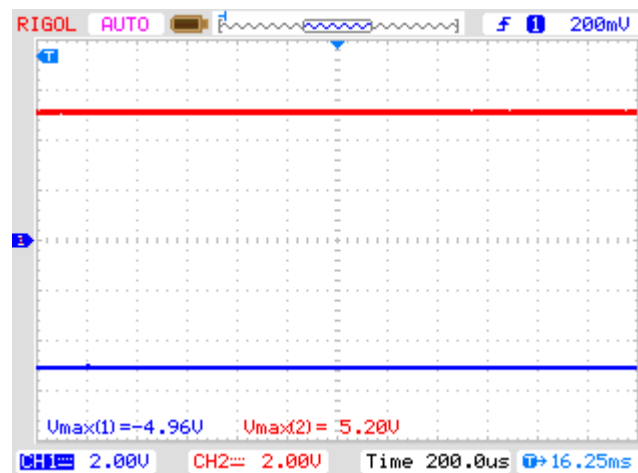
Les 2 AOP de cette structure sont en régime non-linéaires

Nom des montages :

Ce sont des AOP en montage comparateurs

Réglage des niveaux V+ et V- :

Nous avons ici Ch1 = V- et Ch2 = V+.

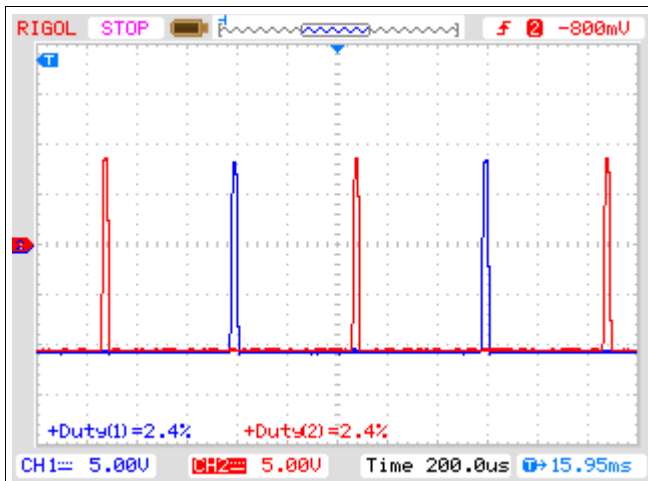


Détermination de +V et -V par le calcul :

<p>Avec :</p> <p>+VDD = 12V</p> <p>-VDD = -11,73V</p> <p>R8 = 9,41kΩ</p> <p>R9 = 9,45kΩ</p> <p>αP2 = 9.35kΩ</p>	$+V = \frac{\frac{+VDD}{R8} + \frac{-VDD}{R9 + \alpha P2}}{\frac{1}{R8} + \frac{1}{R9 + \alpha P2}} = \frac{\frac{12}{9,41k} + \frac{-12}{9,45k + 9,35k}}{\frac{1}{9,41k} + \frac{1}{9,45k + 9,35k}} = 4V$ $-V = \frac{\frac{-VDD}{R9} + \frac{+VDD}{R8 + \alpha P2}}{\frac{1}{R9} + \frac{1}{R8 + \alpha P2}} = \frac{\frac{-12}{9,45k} + \frac{12}{9,41k + 9,35k}}{\frac{1}{9,45k} + \frac{1}{9,41k + 9,35k}} = -3.96V$
---	---

#### 4) Fonctionnement global

##### Réglage de P4 au point milieu

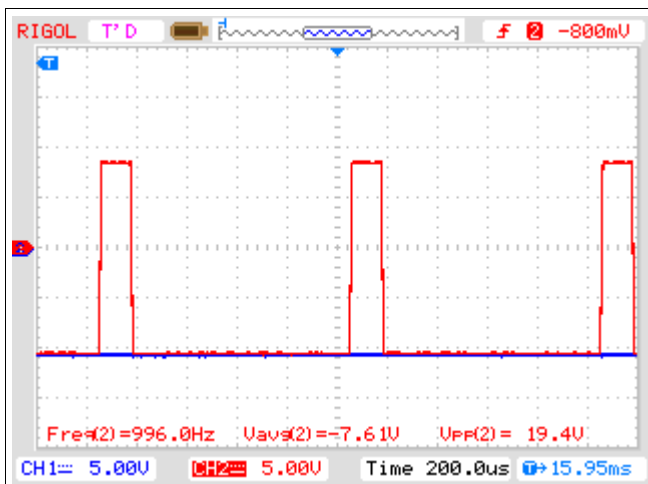


P4 sert à équilibrer les signaux  
+PWM et -PWM.

En modifiant la valeur de P4, on modifie les  
rapports cycliques, et donc le rapport  
 $\frac{+PWM}{-PWM}$  des valeurs moyennes.

Avec des rapports cycliques aussi faibles au  
point milieu, le moindre offset fait  
disparaître un des deux signaux.

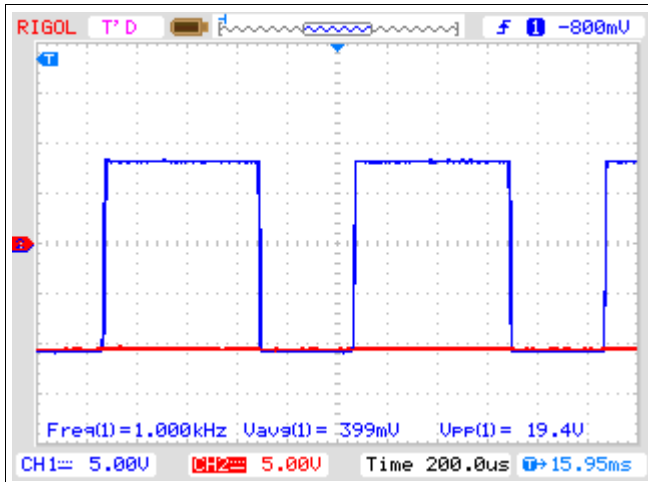
##### Réglage de P4 dans un sens



Dans ce sens, P4 envoie un offset négatif au  
montage sommateur.

En modifiant le réglage dans ce sens on  
module le rapport cyclique de -PWM.

## Réglage de p4 dans l'autre sens



Dans ce sens, P4 envoie un offset positif au montage sommateur.

En modifiant le réglage dans ce sens on module le rapport cyclique de +PWM.

### Conclusion des mesures :

La carte prend en entrée des tensions continues pour renvoyer des signaux PWM.

Le premier étage transforme l'alimentation continue en signal triangulaire alternatif doté de valeurs, crête et fréquence, définies. Ces valeurs sont réglables par des potentiomètres. Une fois définies, elles ne sont plus modifiées.

Le second étage modifie la valeur moyenne du signal triangulaire à l'aide d'un offset réglable par un potentiomètre. Ce sera ce réglage qui définira le point milieu et le rapport entre les deux sorties PWM.

Le troisième et dernier étage compare le signal triangulaire avec une tension seuil. Le premier est à  $V_{sat}$  tant que le signal triangulaire est supérieur à  $V_{ref}$ , le second est à  $V_{sat}$  lorsque le signal triangulaire est inférieur à  $V_{ref}$ .  $V_{ref}$  est réglable par un dernier potentiomètre qui permet de définir un offset au point milieu.

Dans le cas où le moteur ne réagit qu'à partir d'un certain rapport cyclique, ce potentiomètre permet de régler le point milieu tel que :  $R_{c+PWM} = R_{c-PWM} = R_{cMIN}\%$ , et ainsi assurer que potentiomètre ne tourne pas dans le vide plus que nécessaire.

Pour finir, on remarque que la valeur moyenne maximum de  $-PWM$  atteint 6,8V alors que celle de  $+PWM$  n'atteint que 5.6V. On peut en déduire, et le vérifier physiquement, qu'un moteur branché ira moins vite en sens normal qu'en sens inverse.

## Conclusions

La phase de soudure de la carte a été compliquée par une inversion des empreintes des potentiomètres. Nous avons dû effectuer des réparations de fortune pour placer les bons potentiomètres au bon endroit.

Durant la phase de test avec moteur, nous avons été surpris par la puissance cinétique d'un vibreur de manette de console de jeu et avons dû effectuer de rapides réparations dessus.

Pour finir, l'outil mathématique a été utilisé de manière bien plus poussée que dans la carte précédente. Les liens entre les différentes disciplines se resserrent progressivement au fil des exercices réalisés.